

21세기 가스터빈 기술 및 적용 전망



김 수 용

(KIMM 열유체공정기술연구부)

- '83 인하대학교 조선공학과(학사)
- '84 삼성중공업(주)거제조선소 기본설계부(기사)
- '86 Florida Atlantic University 해양공학과(석사)
- '89 Texas A&M University 항공공학과(석사)
- '92 Texas A&M University 기계공학과(박사)
- '93 삼성데이터 시스템 CIM(Computer Integrated Manufacturing)부
- '98 유체기계기술사
- '94 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



Dr. Valeri P. Kovalevsky

(KIMM 열유체공정기술연구부)

- '72 Leningrad ShipBuilding Institute Power generation
- '85 Doctor of Science
- '89 Energy Department of Leningrad Shipbuilding Institute, Propulsion
- '95 St. Petersburg Marine Technical University, Gas turbine engine
- '99 Energy Ecology Engineering, Gas turbine Engine
- '00 - 현재 한국기계연구원 한러유체과학자

1. 머리말

가스터빈 기술은 1920년대 최초 개발된 이래 지금까지 급속한 발전을 하여 왔으며 21세기 들어서에는 추진, 동력, 발전, 레이저 등 우리의 사회 곳곳에 보다 광범위하게 사용될 전망이다. 가스터빈 개발의 역사는 시대적 요구에 따라 다른 발달 양상을 보여 왔다. 1990년 초기까지 낮은 효율로 인하여 기술의 중요성은 인정되나 우리 생활과 밀접한 분야까지의 적용은 어려웠던 것이 사실이다. 그러나 90년대 이후 내열 소재 기술의 향상 및 냉각 기술의 진보로 현재 단순 사이클에서도 효율이 30%이상을 웃돌고 있고 Recuperator나 Regenerator 등 열회수장치가 부착되는 경우 40%이상까지도 가능하여 이제는 가스터빈 기술이 군사용뿐만이 아닌 일반 상업용으로까지 적용될 수 있는 토대가 마련되었다고 해도 과언이 아닐 것이다. 본 기고에서는 이러한 가스터빈 기술의 일반적인 특성 및 적용성 그리고 21세기를 맞이하여 가스터빈 기술이 한국의 산업사회에 갖는 의미 등을 검토함으로써 가스터빈 기술 개발 방안에 대하여 지표를 제시코자 하며 항공분야보다는 육상, 산업용 분야를 집중하여 검토하고자 한다.

2. 가스터빈 기술 개관

가스터빈 기관은 사용 용도에 따라서 터보젯, 터

보프롭, 터보팬, 터보축으로 나눌 수 있으며 이중 터보젯, 터보팬, 터보프롭 등은 항공기 추진용으로 터보축 엔진은 산업용으로 사용되어 진다. 이들 모두는 압축기, 연소기, 터빈으로 구성되는 Brayton cycle을 기본으로 한다. 압축기에서는 대기 공기를 흡입하여 단열 압축과정을 거침으로써 공기의 온도와 압력이 높아지며 연소기내의 연소과정을 통하여 등압 과정 하에서 연료 분사에 의한 열에너지가 추가됨으로써 가스의 온도가 크게 높아지게 된다. 압력과 온도가 높아진 가스는 터빈에 유입되면서 단열팽창 과정 하에서 팽창됨에 따라 가스내의 유체 에너지가 기계에너지로 바뀌게 된다. 이 기계에너지는 다시 압축기를 회전시키는 것 뿐 아니라 기타의 연료펌프, 윤활펌프, Water 펌프 등 보조시스템의 구동에 필요한 에너지를 공급하게 된다. 이렇게 자체 시스템의 구동에 요구되는 에너지를 공급하고 남은 에너지는 산업용의 경우 제너레이터를 구동하여 발전을 시키거나 항공용과 같이 추력과 같은 추진용으로 사용될 수 있다. 가스터빈 엔진은 기타의 동력 기관에 비하여 출력 또는 추력 대비 무게가 작아 설치 면적이 작게 요구되는 까닭에 일찍부터 항공용으로 적용되기 시작하였으며 이제는 육상 산업용으로까지 널리 사용되고 있다.

3. 가스터빈 기술 개발 현황

3.1 국내의 기술 개발 현황

국내에서 가스터빈 기술 개발은 1970년대 이후 가스터빈 열병합발전 설비가 설치되면서 시작되었다고 볼 수 있다. 도심 가운데 대형 건물 또는 아파트 단지가 들어서면서 이에 대한 전력 및 물 공급을 위하여 가스엔진식 또는 가스터빈식 열병합발전 설비가 설치되었다. 1980년대 현대, 한라, 쌍용 등이 외국과의 기술 협력을 통하여 가스터빈 기술을 확보코자 노력하였으며 이와 동시에 KIMM, KARI, KIST 등 출연연구소

등에서도 가스터빈 시스템 기술 개발 또는 요소 기술 개발을 위한 시도가 이루어져 왔다. 그림 1은 최근 국내에서 이루어진 가스터빈 개발 관련 연구들이다. 국내 대학에서는 주로 CADCADE 실험, 블레이드 열전달 해석 및 실험, 간극 유동 해석 및 실험, 소재 기술 개발, 공력해석, 사이클 해석, 부분품 설계 등에 관한 연구를 중점적으로 수행해왔다.

3.2 국외의 기술 개발 현황

국내에서의 연구가 대부분 요소기술 개발 및 부분품 성능 실험 관련 연구로 치우친 반면 국외에서는 상품화 개발 또는 성능개선을 위한 고효율, 고성능, 저소음, 저배기(NOx) 관련 연구들이 집중적으로 이루어지고 있다. 더욱이 21세기로 들어와서는 환경 친화적인 가스터빈 개발을 위하여 기술 보유국들이 정책적으로 국가가 지원하는 사업들을 통하여 기술 개발에 최선을 다하고 있다. 미국의 ATS(Advanced Turbine Program), CAGT(Collaborated Advanced Gas Turbine), Patriot Project, 일본의 Moonlight Project, 유럽의 ECC프로젝트 등이 그것이다. 현재 세계의 가스터빈 시장은 미국, 영국, 프랑스, 독일, 스웨덴, 러시아, 일본, 이탈리아 등 선진국들의 몇몇 대기업들이 시장을 분배하여 지배하고 있는 실정이며 구 소련 당시 소련내의 가스터빈 공급을 독점하여왔던 러시아의 주요 가스터빈 업체들은 개방과 더불어 서방 세계의 제품과의 경쟁에서 상당수가 도태되어 가고 있는 실정이다. 항공용의 경우 여전히 러시아 정부의 지원으로 기술력을 유지하고 있지만 산업용의 경우는 정부지원이 격감함에 따라 기술 향상을 위한 연구가 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그러나 최근 러시아 경제가 호전되면서 이들 가스터빈 제작소에도 조금씩 활기가 되살아나고 있다고 전해지고 있다. 러시아나 우크

라이나 가스터빈 기술의 경우 항공용은 서방 세계와 비교하여 성능 면에서는 큰 차이가 없다고 판단되나(3%이내) 가격은 많은 차이가 있으며 (20%이내) 기술 협력을 위한 가능성도 서방 세

계보다는 매우 높아 한국과 같이 조속한 시일 내에 기술을 확보코자 열망하는 국가로서는 좋은 기회가 될 수 있다고 본다. 표 2의 시장점유율은 예상수치 이상이다.

표 1. 국내의 가스터빈 기술 개발 동향

연구기관	연구내용	수행년도
KIST	축류가스터빈 설계 S/W개발	1990
	가변익 터빈 개발	1988
	터빈 케이싱내 유동해석 및 형상설계	1988
	니켈기 초내열 합금개발	1986-1989
	Hastelloy x합금제조가공	1980
KIMM	50KW Hybrid 자동차용 TurboGenerator 개발	1996-2002
	화재진압용 비활성가스제너레이터 개발	1999-2002
	터보기계설계기술 개발	1994-1998
	열병합발전 플랜트설계 및 제작기술개발	1993-1995
	터보기계내부유동장 수치시뮬레이션	1993-1994
	원심압축기설계기술개발	1991-1994
	소형스팀터빈 설계기술 개발	1992-1993
	가스터빈용압축기 개발	1990-1991
	고속회전체 발란싱기술	1988-1990
KARI	항공기엔진 시스템설계 및 성능시험기법	1986-1992
	항공기엔진 부품 CAD/CAM기술	1992-1995
한국항공 기술연구소	지역발전용 가스터빈개발	1993-1995
서울대학교	연소기 최적 설계 및 성능시험기술	
	가스터빈 캐스케이드 열전달 해석 s/w개발	
	Cascade 유동 수치해석	
삼성테크윈	항공기 엔진정비시설 및 성능시험설비보유	
	100kW APU 개발 사업	1997-2000
	1.2MW 산업용가스터빈엔진 사업	1992-1997
한국중공업	소규모지역발전	1993
한라중공업	대형건물비상발전용	1994
쌍용중공업	선박용터보차저	1994 -

표 2. 국외의 가스터빈 기술 개발 동향

회사	생산기종	기술개발 동향	시장점유
GE	LM500	4.4MW, 저 Nox 연구	약 40%
	LM2500	25 MW, 저 Nox 연구	
	LM4000	30 MW, 저 Nox “	
	LM5000	34 MW, 저 Nox “	
	LM6000	42 MW, Intercooler adopted	
	GEX	90 MW, 고효율연구, 고비출력연구	
P&W	FT4000	50 MW, dry 저 Nox	약 5%
	FT400IC	100 MW, 중간 냉각사이클도입 연구, 고 TIT	
	HAT	260 MW, 플랜트 효율향상 55.3% 목표(>200MW), 습기식터빈 연구	
Westing House	RB211	27.2 MW, 고비출력, low Nox 연구	약 7%
	251B11/12	49.2 MW, 고비출력, low Nox 연구	
	TRENT	50.8 MW, “	
	501D5	121 MW “	
	701DA	138 MW “	
	501F	163 MW “	
	701F	235 MW “	
ABB	GT11N2	109 MW	약 15%
	GT13	97 MW, TIT=820oC, 고비출력, low Nox 연구	
	GT13D	89 MW, TIT=990oC, “	
	GT13E	148 MW, TIT=1070oC, “	
	GT13E2	164 MW, 35.4%효율, 160MW, 제어시스템 (distributed control), TIT=1100oC	
	GT35	17MW, 저배기, 고효율 연구	
EBARA	PW-6E	570 KW, Low Nox 연구	약 5%
	PW-7E	700 KW, Dry Low Nox 연구	
	FT8	25 MW, “	
	PW-6M	614 KW, “	
	PW-7M	747 KW, “	
Rolls Royce	RB211-24G	25ppm low Nox without steam or water jet 연구	약 7%
	RB311	-quick start, high efficiency 연구	
Mitsubishi	MF-61	5925 KW, 소재연구, 고비출력 연구	약 5%
	MF-111A	12.6 MW, “	
	MF-111B	14.5 MW, “	
	MF-221	30 MW, “	
	MW-251	36 MW, “	
	MW-501	104 MW, “	
	501F	158 MW, “	
	701F	221 MW, “	

회사	생산기종	기술개발 동향	시장점유
Kawasaki	S1A series	220 KW, 고효율, 고비출력 연구	약 6%
	SIEMENS	400 KW, “	
	M1A series	1170 KW, “	
	MIT series	2000 -3000KW “	
	M7A series	6000KW, “	
SIEMENS	PGT2	2180KW, 고효율, 고비출력 연구	약 10%
	PGT5	5070KW, “	
	PGT5R	4850KW, “	
	PGT10	10.4MW, “	
	V64.3	63MW, “	
	V84.2	106MW, 31%(simple cycle) 효율 연구	
	V84.3	154MW, “	
	V94.2	156MW, “	
	V94.3	222MW, “	

4. 적용 분야

4.1 발전 분야

4.1.1 Heavy Duty 가스터빈 엔진

항공용을 제외한 가스터빈 적용 분야 중 가장 중요한 것이 발전 부분이다. 지금까지 발전 분야에서 가스터빈은 10MW급 이상의 대형이 주로 사용되어 왔는데 이는 대부분의 기동 시간 중 가스터빈이 정격에서 운전되기 때문에 높은 효율로 운전될 수 있고 시스템이 대형화할수록 압축비의 증가 및 터빈 입구 온도 증가의 혜택을 크게 볼 수 있기 때문인 것으로 볼 수 있다. 서인천 복합발전이 설치되어 있는 GE7FA의 경우 단순사이클 가스터빈에 HRSG(Heat Recovery Steam Generator)까지 결합되는 경우 시스템 효율이 거의 60%의 효율까지 도달하고 있다. 그러나 2000년 초 미국 에너지 부가 발표한 보고서에 의한 경우 21세기 발전 시장이 Fuel Cell 기술 또는 Fuel Cell과 가스터빈이 조합된 시스템에 의한 분산형 발전 시스템이 세계를 석권할 것으로 전망하고 있다. 이것은 원자력발전이 방

사능 누출 등 환경 문제로 인하여 주민들의 반대로 신규 건설이 어렵고, 수력 발전의 경우 역시 막대한 건설 비용 및 기간, 그리고 환경 파괴 등의 문제로 인하여 난관이 예상되며, 화력 발전의 경우 대기 오염 등 문제로 인한 환경 파괴로 점차 설 땅을 잃어 가는 데 비하여 가스터빈 발전의 경우 효율 향상 및 협소한 설치면적, 상대적으로 깨끗한 배기가스, 짧은 기동 및 정지 시간 등의 장점으로 이미 적용성이 크게 높아지고 있는 추세이다. 더우기 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell)의 전해질인 Ceramic이 NASA에 의하여 가스터빈 배기가스 온도에 접근하는 섭씨 900도 이상에서 훌륭한 전해질의 역할을 할 수 있음이 밝혀짐에 따라 가스터빈과 SOFC가 조합된 분산형 발전 시스템 기술 개발 가능성이 매우 높아지고 있고 현재 선진국 대부분이 SOFC 또는 SOFC-GT의 기술 개발에 총력을 기울이고 있는 실정이다. SOFC-GT 시스템에 의한 기술 개발이 완료되는 경우 시스템 효율이 낮게는 70% 이상부터 쉽게 80%이상까지 도달할 수 있는 것으로 의견이 일치되고 있다. SOFC의 경우 소음도 거의 없고 또 배기가스 오염이 거의 0에 가

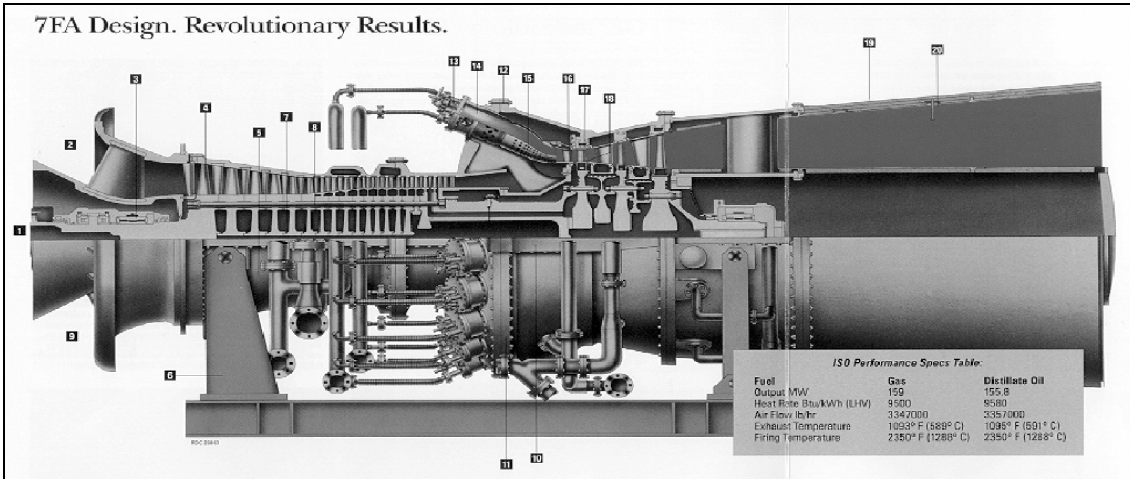


그림 1. 서인천 복합발전소에 설치된 GE사의 7FA Heavy Duty 가스터빈 엔진

값기 때문에 21세기 분산형 발전 시스템으로서 최적으로 평가받고 있다. 이러한 기술 개발이 현실화되는 경우 개인 주택, 아파트, 병원 등이 독자적인 발전 시스템을 갖추게 되는 것을 의미하며 현재 일본의 경우 동경전력은 이러한 개인 발전 시 남는 전력을 구입하는 것을 법제화 한 것으로 알려져 있으며 한국전력도 일본의 사례를 그대로 따를 것으로 알려져 있다.

4.1.2 마이크로 가스터빈 분야

마이크로 가스터빈은 시각에 따라 다르지만 20~300kW 출력 급의 가스터빈을 지칭하고 있다. 가스터빈 기술 향상과 더불어 21세기 분산형 발전 형태의 한 축을 이루리라는 전망과 함께 부각되고 있는 것이 마이크로 가스터빈 분야인데 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell : 고체산화물 연료 전지) 소재로 사용되는 세라믹이 900~1000℃ 부근에서 사용되고 있기 때문에 마이크로 가스터빈 배기가스의 온도와 열역학적으로 잘 결합이 되어 효율 70-80%까지도 가능한 매연이 없는 고효율의 동력 시스템이 가능하다는 관측에서 최근 전 세계적으로 관심을 끌고 있다. 현재 미국의 Westinghouse와 Siemens가 DOE (Department of Energy)의 지원 하에 tubular type의 연료 전지

개발을 수행하고 있으며 전 세계의 주요 연구기관 및 업체들이 SOFC 또는 SOFC-GT 발전시스템의 개발 경쟁에 뛰어들고 있다. DOE 보고서에 따르면 빠르면 2008년에 제품의 상품화가 이루어질 것으로 예측하고 있으나 상업성이(500\$/kW)이 있기까지는 다소 시간이 지연될 것이라 추측되고 있다. 한국기계연구원은 1993년 말부터 2007년까지 기관고유사업으로 74kW 축류형 가스터빈 개발에 관한 연구를 진행하였으며 1996년부터 1999년 말까지 차세대 신기술 개발 사업으로 50kW급 터보제너레이터 개발 연구를 진행하였다. 3년간의 연구를 통하여 자체 기술로 기본 및 상세 설계도면 제작을 완료하였으며 참여업체인 (주)쌍용중공업은 제작된 도면에 의거하여 부분품 일체를 제작하였다. 1999년 초 제품의 조립이 완료되고 1999년 중반 이후 성능시험이 진행되고 있다. 현재는 기계연구원의 기본사업으로 2002년 말까지 성능시험 기술의 완료를 목표로 연구를 진행하고 있다. 개발 중인 50kW 마이크로 가스터빈의 기본 사양은 표 3에 나타난 바와 같다. 현재 무부하 성능시험을 수행 중에 있으며 회전 속도 62,500rpm까지 시험이 완료되었다. 조만간 80,000까지의 무부하 성능시험을 완료 후 부하 test를 실시할 예정이다.

표 3. 한국기계연구원이 개발 중인 50kW급 터보제너레이터 기본 사양

Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit
Ambient conditions			Turbine		
Temperature	288.15	K	Exit Temperature	850.53	K
Pressure	101.325	kPa	Exit pressure	106.495	kPa
Intake pressure loss	0.98		Expansion ratio	3.506	
Compressor			Efficiency	0.852	
Exit Temperature	462.19	K	Mass flow rate	0.508	kg/sec
Exit pressure	397.194	kPa	Work	140.076	kW
Pressure ratio	4		Rotating speed	79,750	rpm
Efficiency(Isentropic)	0.8		Heat Exchanger		
Mass flow rate	0.5	kg/sec	Effectiveness	0.5	
Work	87.88	kW	Exit air temperature	660.9	K
Bleed	0	%	Heat transferred to air	205974	J/kg
Combustor			Performance w/o recuperator		
Exit temperature	1100	K	Shaft power	52.2	kW
Exit Pressure	373.362	kPa	Psfc	0.6106	kg/kW
Pressure loss	6.0	%	Thermal efficiency	14.23	%
Efficiency	0.99		Performance w. recuperator		
Fuel LHV	46.302	MJ/kg	Shaft power	50.3	kW
Mf/Ma	0.01584		Psfc	0.573	kg/kW
			Thermal efficiency	20.5	%

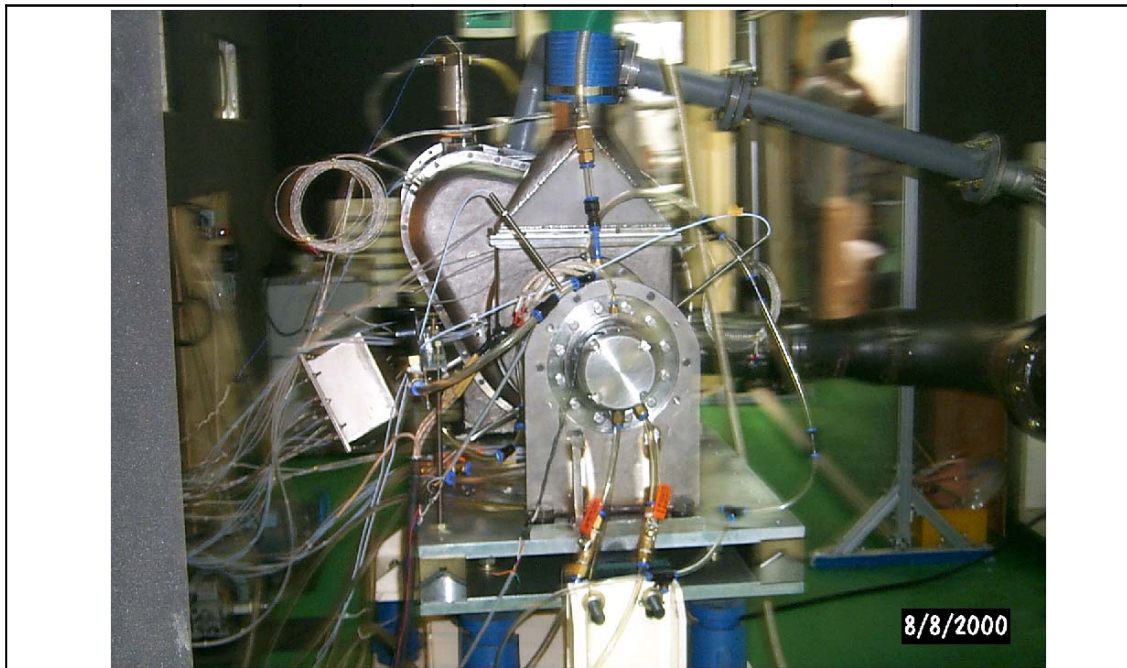


그림 2. 시험중인 50kW급 터보제너레이터 모습

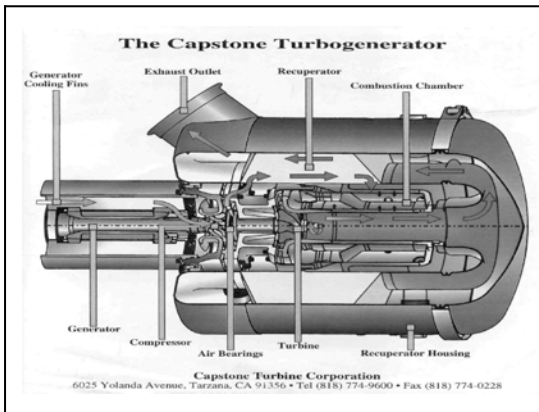


그림 3. 미국 Capstone사의 30kW급 마이크로 터빈

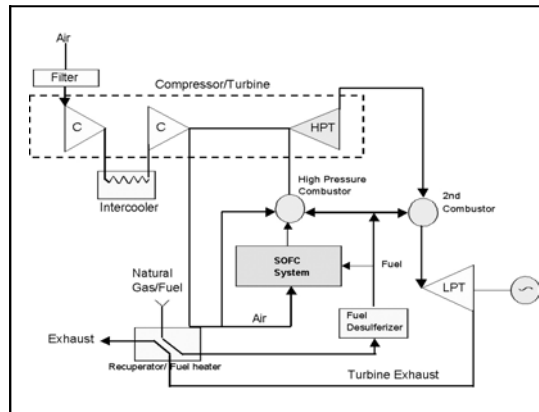


그림 4. SOFC-GT 시스템 개략도

4.2 원유/가스 수송 가스터빈

가스터빈 엔진은 특히 기름 및 가스산업에 많이 사용되고 있다. 원유나 가스의 경우 배관을 통하여 장거리 이송이 요구되기 때문에 배관내의 압력 손실이 매우 크므로 45-70기압 정도의 압력으로 보내지며 특히 기온이 낮은 시베리아나 알래스카 지역은 가스 및 원유 수송을 위한 압축기 구동에 가스터빈을 많이 사용하고 있다.

4.3 선박용 추진 분야

지금까지 가스터빈이 선박에 사용된 것으로 거의가 군사용 군함 추진용이 대부분이었으나 최근 들어 레저 등예의 산업에도 적용사례가 크게 증가하고 있다. 특히 해상 경주용에는 상당부분 가스터빈을 장착하고 있으며 또 Hovercraft 등 특수선에도 가스터빈이 탑재되고 있다. 주요 적용 방법을 보면,

- (1) COSAG(Combined Steam And Gas turbine) : 스팀 엔진과 가스터빈에 각각 프로펠러가 부착되어 있음
- (2) CODAG(Combined Diesel And Gas turbine) :

Diesel 엔진과 가스터빈 엔진에 각각 추진 장치가 부착되어 있음

- (3) CODOG(Combined Diesel or Gas turbine) : 한 개의 프로펠러를 디젤 또는 가스터빈이 공유
- (4) COGAG(Combined Gas turbine and Gas turbine) : 저출력 및 고출력 가스터빈에 각각 추진 프로펠러가 부착되어 있음
- (5) COGOG(Combined Gas turbine or Gas turbine) : 한 개의 추진 프로펠러를 저출력 또는 고출력 가스터빈이 공유 등 다양하게 기타 동력 시스템과 조합되어 사용되어 지고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 저속 추진 중에는 스팀터빈이나 디젤 기관을 운용하다 비상시 고출력이 요구되는 경우 가스터빈을 구동하여 추진력을 얻는 것으로 알려져 있다. 가스터빈의 경우 비출력(출력대비 유량)이 상대적으로 크기 때문에 협소한 장소에 고출력기관의 탑재가 요구되는 경우 효과적인 것으로 나타나고 있다. 그림 5의 M21은 11,500 ton급 미사일 순양함에 사용된 시스템이다. 순항 엔진은 7,300 hp 가스터빈과 2,700 hp 스팀터빈을 함께 사용해서 순항 속도에서 높은 효율을 가진다. Boost 엔진은 22,500 hp 가스터빈 2개를 사용 전체 110,000 hp을 낼 수 있고 최고 속도는 32.5 노트이다.

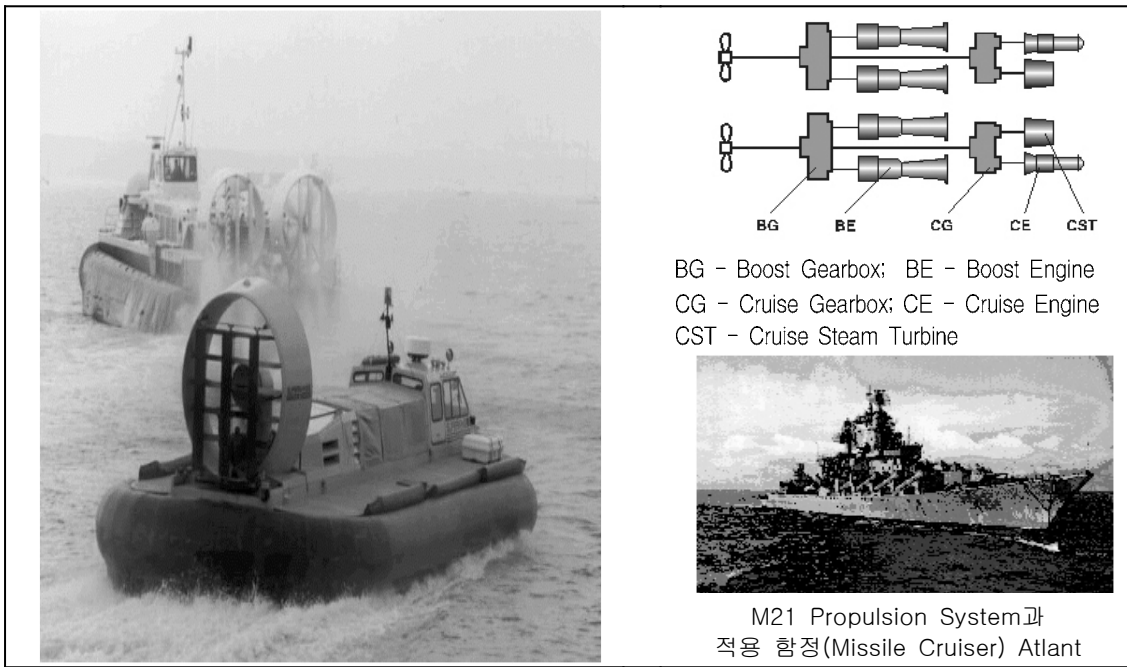


그림 5. Hovercraft 및 구축함용 가스터빈

4.4 고속 열차용 가스터빈

가스터빈이 고속 열차에 탑재된 것은 미국이 1949년 United Aircraft Corporation이 설계하고 Sikorsky Aircraft Division이 제작한 TurboTrain이 최초로 상용화되어 Trenton과 NewBrunswick 간에 운행된 경험이 있으며 현재도 Buffalo와 NewYork간에 주기적으로 운행되고 있는 것으로 알려져 있다. 이후 1960년 말 프랑스에서는 프랑스 국철(SNCF)이 주관하여 개발한 ETG가 상용화되어 180km/hour의 속도로 운행되었으며 1971년 X4300 TGS는 시속 252km/hour의 속도를 달성하는데 성공하였다. 이후 SNCF는 유명한 가스터빈 엔진 제작사인 Alsthom사로 TGV001을 제작하게 하여 최고 속도 300km/hour까지 도달하였으나 1974년 oil shock이 발생하면서 연료비 면에서 비 경제적이된 TGV-001의 운행을 중단하였다. 프랑스는 유명한 가스터빈 제작사인 Turbomeca사가 고속 열차용 가스터빈 TURMO III 및 TURMO X를 제작하여 미국의

ROHR사에 공급한 경험이 있다(그림 6). 그러나 무엇보다도 현재 미국 정부, 즉 FDR(Federal Railroad Administration)과 DOT (Department of Transportation)가 연합하여 각주의 노후 열차를 개선하고자 추진하고 있는 NGHSR(Next Generation High Speed Rail Program)이 중요하다 하겠다. 이 NGHSR 프로그램에서 중요한 사항은 미국이 가스터빈과 에너지 입출력 장치인 FlyWheel을 개발하여 병행하여 사용하고자 하는 점이다. 본 프로그램에서는 가스터빈이 부분부하에서 효율이 떨어지는 점과 정지로부터 정격까지 속도에 도달하는 시간이 전철에 비하여 다소 열등한 점을 보완하기 위하여 FlyWheel을 사용함으로써 정지 상태에서부터 정격까지 이르는 짧은 시간 동안 FlyWheel(600MJ)에 저장된 에너지를 사용하고 또 목표 지점에 도달하여 속도를 감소시키는 시간 중에도 FlyWheel로부터 에너지를 추출하여 운행한다는 점이다. 정격상태에서는 물론 가스터빈에 의한 구동을 하고

또 이 기간 중(대부분의 운행시간)에는 가스터빈 으로부터 FlyWheel에 잉여 에너지를 공급하여 저 축한다. 2000년 11월 Colorado주 Pueblo 시에서 실시한 시운전 test결과 만족스러운 주행결과를 얻은 것으로 보고하고 있다(그림 7). 이외에도 한국, 오스트레일리아 등도 전철화가 안된 비전철화 구간 적용 및 대륙횡단고속열차 운영을 위하여 가 스팀터빈 추진을 고려 중에 있다.

4.5 화재진압 분야

한국기계연구원은 터보젯 가스터빈을 이용하여 화재진압을 수행할 수 있는 비활성가스제너레이터 에 관한 연구를 수행 중에 있다. 비활성가스제너 레이터는 항공용 가스터빈 엔진을 통과하는 가스 내에 남아 있는 산소량이 터빈 입구 온도 및 압축 기 출구 온도에 의하여 지배를 받는 것을 이용하여 일차적으로 산소 농도를 낮춘 후 다시 가스터 빈 후방에 연속하여 설치된 후방연소기를 통하여 이차적인 연소 작용으로 대기중의 산소 농도 21% 를 약 2% 이하까지 낮춘 후 이를 섭씨 120도까지

냉각하여 소화제로 사용하고자 하는 장치이다. 개 발되는 비활성가스제너레이터는 시간 당 약 15,000m³ 이상의 비활성가스를 생산하므로 이를 중대형 밀폐나 반 밀폐 공간에 발생한 화재진압에 사용하는 경우 매우 효과적으로 화재를 진압할 수 있다고 판단된다. 일반적으로 건물 내에 화재 발 생 시 사망자는 대부분이 건물 내 화염의 온도가 높아 눈을 뜰 수 없는 상황 하에서 신체 위치를 낮추고 벽을 따라 통로를 찾고자 하는 과정에서 유독가스에 의하여 질식되어 사망하는 확률이 90% 이상인 것으로 화재 전문가들은 발표하고 있다. 실내에 고온의 화염이 존속하는 한 유독가스는 더 욱 증가하게 되고 따라서 내부의 사람이 사망할 확률은 더 높아진다 하겠다. 따라서 실내 공간에 화재 발생 시 비활성가스의 살포로 인하여 사람이 질식하여 사망하기보다는 오히려 비활성가스가 살 포되는 1분(대부분의 150m³ 이하의 실내 공간의 경우 1분이면 화재 진압이 이루어짐) 이내에 실내 공간의 산소함유량은 21%로부터 15%정도까지 떨어 지는데 이때 화염은 순식간에 사라지게 되므로 사 람이 사망할 가능성보다는 주위 온도가 낮아진 상 태에서 출구를 쉽게 찾을 수 있으므로 그 만큼 사 람의 생존 가능성을 높여 준다고 판단된다. 그림 8은 5톤 트럭에 탑재된 화재진압용 비활성가스제 너레이터의 모습을 보여주고 있다. 본 연구는 민 군겸용 사업으로 1999년 12월 시작하여 2002년 11 월까지 진행중이다.

이밖에 가스터빈은 개방 공간의 화재진압에도 활용되어질 수 있다고 판단된다. 가스터빈을 이용 하여 공기내의 산소 농도를 2%이하까지 낮춘 후 이를 다시 영하 섭씨 20도까지 낮추게 되면 가스



그림 6. 프랑스의 가스터빈 구동 고속열차 TGV-001

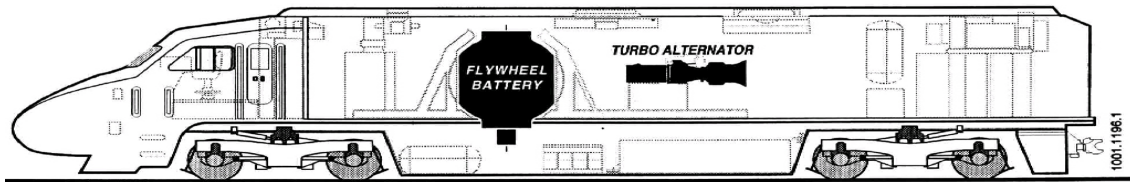


그림 7. 미국에서 NGHSR 프로그램으로 개발 중인 가스터빈 구동 고속 열차

의 밀도가 높아져 분사가 되어지는 동시에 지면에 낮게 드리워지게 된다. 이러한 낮은 온도의 비활성가스(Inert Gas) 다량을 개방 공간에 발생한 산불 주위(기존의 헬기에 의한 소방수 살포와 같이 산불 위가 아닌)에 헬기를 이용하여 살포하여 살포된 비활성가스가 산불 내에 흡입되게 하여 산불이 꺼지게 하는 개념이다. 이 경우 시스템은 반 밀폐 또는 밀폐공간 화재진압을 위한 시스템에 비하여 복잡해지고 또 대형화되는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고 기존의 소방수를 짧은 시간 산불 위에 투하하는 헬기에 비하여 일단 물을 소화제로 쓰지 않고 대기공기를 그대로 흡입하여 연소작용을 거친 후 이를 다시 냉각터빈에서 단열 팽창 과정을 통하여 온도를 낮게 한 가스를 소화제로 사용하기 때문에 헬기에 연료 공급이 충분한 동안 계속적으로 산불을 진압할 수 있다는 장점이 있다. 또 수년 전 고성 산불과 같이 대형 산불이 발생한 경우 산불 주위에 충분한 수원(깊이 2m)을

찾을 수 없어 멀리까지 물을 재충전하러 이동해야 하는 수고를 피할 수가 있다. 그러나 헬기에 탑재하는 경우 적어도 공기유량 6kg/sec 이상의 대형 가스터빈(약 길이 2m정도, 무게 1톤) 및 보조 시스템을 헬기에 탑재하는 문제 및 배기 노즐로부터 분사되는 공기 중의 수분이 얼어붙는 것을 방지하는 문제(분사된 후에는 곧 녹기 때문에 큰 문제되



그림 8. 개발 중인 화재진압용 비활성가스제너레이터

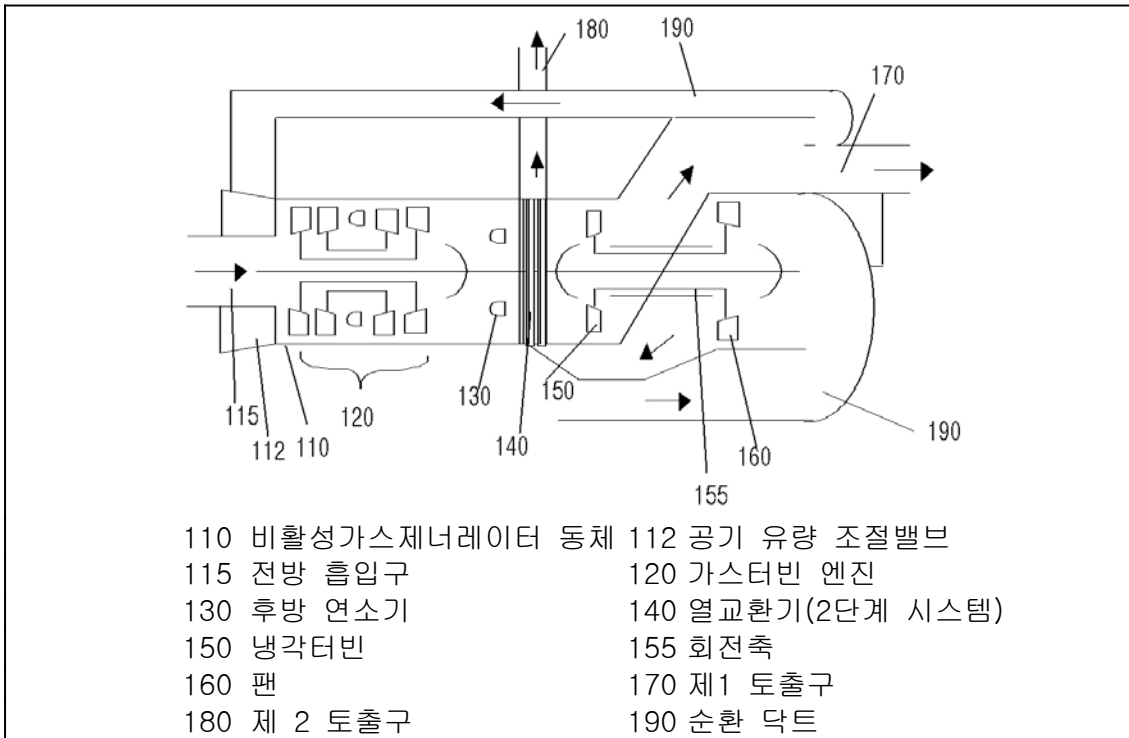


그림 9. 산불 진압용 비활성가스제너레이터의 기본 개략도

지는 않겠지만) 등의 기술적 문제들이 남아 있다고 하겠다. 그림 9는 산불 진압용 비활성가스제너레이터의 기본 개략도를 보여주고 있다.

4.6 식수 제조 분야

발전용 가스터빈 시스템에 있어 터빈부의 온도 강하로 인하여 가스 내에 포함되어 있던 수분이 응축하여 물로 나타나는 것은 잘 알려진 사실이다. 대기 중 1kg의 공기에는 적게는 10g으로부터 20g까지 수분이 녹아 있다. 만일 1MW의 가스터빈 및 부대 장치를 사용하는 경우 물을 하루 약 100톤의 물을 생산할 수 있는 것으로 계산되고 있다. 이 경우 한사람이 하루 400liter를 사용한다고 할 때 약 250명에게 물을 공급할 수 있다. 이러한 시스템은 갈수기나 도서 지방 등 물 부족이 심한 지방에 특히 필요할 것으로 판단된다. 아래 그림은 식수 제조를 위한 가스터빈 시스템의 개요를 보여주고 있다. 뿐만 아니라 터보기계를 사용하여 바

닷물을 담수로 변환하는 장치도 가능하다. 이것은 바닷물을 끌어들이고 후 태양열을 이용하여 기화시킨 후 이를 다시 응축시킴으로서 담수를 만드는 과정이다. 이 경우 가스터빈 단독으로 물을 생산하는 경우보다 톤당 물 가격이 크게 낮아질 수 있다는 장점이 있다. 가스터빈을 이용하여 대기 공기를 흡입하여 대기공기 중의 수분을 응축하는 방법은 하루 8시간 썩 작동하여 약 30톤 정도를 생산할 수 있다면 이러한 시스템을 트럭에 탑재하여 물이 부족한 지역에 자유롭게 이동시켜 물을 공급할 수 있다는 기동성의 장점이 있으나 톤당 물 가격이 15,000~20,000원정도로 매우 고가라는 것이 단점이다. 그러나 후자와 같이 바닷물을 흡입하여 물을 생산코자 하는 경우 물의 가격이 톤당 500원 미만도 충분히 가능하다는 계산이다. 장차 물이 부족한 상황이 올 것에 대비하여 이에 대한 연구를 진행하는 것이 필요하다는 생각이다. 그림 10은 식수 제조를 위한 가스터빈 시스템 장치의 개략도이다.

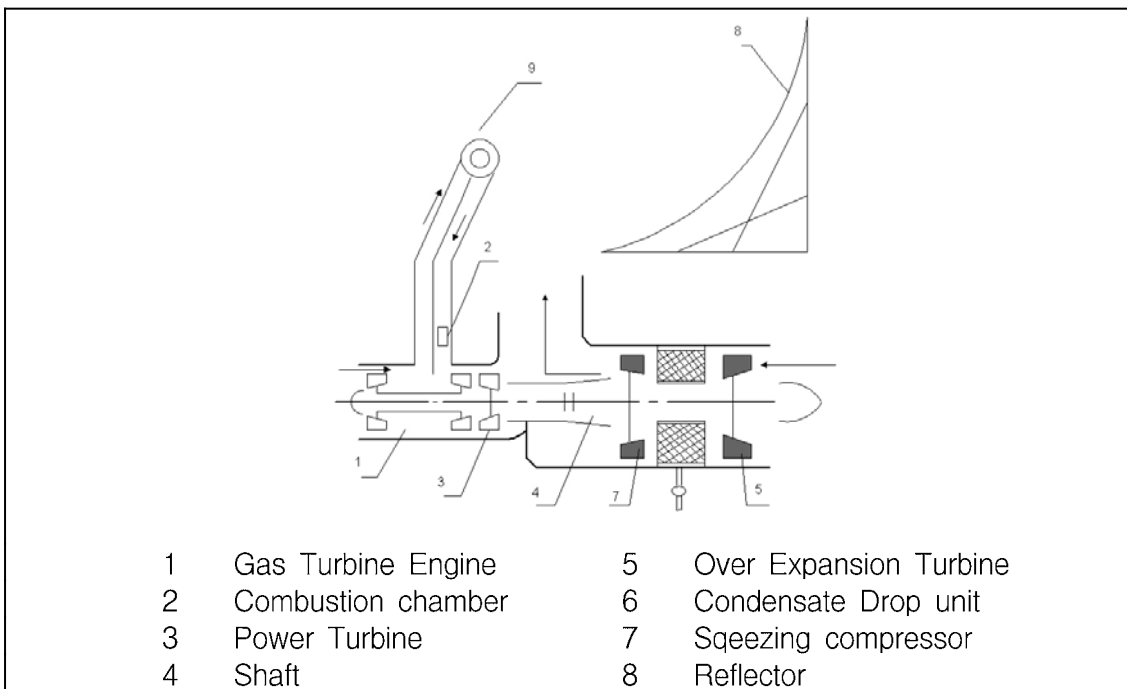


그림 10. 식수 제조용 가스제너레이터 시스템

5. 가스터빈 기술의 시장 및 적용 전망

가스터빈 기술은 그 기술의 복합성으로 인하여 여전히 기술 보유국들의 독점 무대가 되고 있다. 그러나 1990년 이후 한국, 인도네시아, 이란 등 가스터빈 기술 개발에 관심이 있는 국가들이 국가 정책적인 차원에서 막대한 투자를 하고 있으며 요소 기술 확보를 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 한국의 경우 90년대 말 과거 한국중공업(현 두산 중공업)에서 가스터빈 발전 기술확보를 위하여 GE와의 기술 제휴를 피하였으나 지난 20여 년간 GE와 Steam Turbine 분야에서 License생산을 하여 왔던 한중이 이제 전 세계 무대에서 스팀터빈 분야 발전 시장에서 GE 및 유수의 발전플랜트 제작업체와 경쟁을 하게 되면서 GE는 한중과의 협력을 기피한 사례가 있다. 현재 가스터빈 발전은 배기 가스 내 오염물(NOx)이 디젤 기관에 비하여 15%이하에 불과하기 때문에 환경적 측면에서 매우 유리한 이점을 갖고 있다. 뿐만 아니라 효율의 상승으로 가스터빈 발전 시장 역시 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 한중은 스팀 터빈 기술 개발이 활발하게 이루어지던 1980년대 기간 중 적자 기업으로 많은 어려움이 있었으나 현재 스팀터빈 발전 분야에서 많은 흑자를 내고 있는 것으로 알려져 있다. 더욱이 최근 전 세계적으로 관심을 모으고 있는 분산형 가스터빈 열병합 발전 시스템에 대한 기술 대비를 통하여 21세기 발전시장 개방 시 외국 기술들의 국내 시장 점유를 막기 위하여 충분한 준비가 요구된다 하겠다. 그 외 초소형으로 만년필 크기의 가스터빈을 이용하여 보조 동력원(Battery) 또는 소모성 비행 또는 정찰용 비행체에 탑재하여 정보 수집 등에 사용하기 위한 연구(MEMS : Micro Electro Mechanical Systems)에도 활용되고 있어 적용전망은 매우 넓다고 할 수 있다. 향후 10여년 내에 중국, 브라질, 인도네시아 등이 자동차, 조선, 중전기 분야의 기술에서 한국을 추월할 가능성이 높은 것으로 판단할 때 이들

과의 기술 격차를 벌이기 위하여 반드시 가스터빈 기술의 확보를 위한 기술개발의 방향을 조속히 수립해야 할 것으로 판단된다.

6. 요약 및 가스터빈 기술 국산화 추진 전망

가스터빈 기술은 가스터빈 개발에 요구되는 고유한 특성 때문에 기술확보가 여타 분야 첨단분야 못지 않게 어렵다. 가스터빈의 경우 구성을 이루는 압축기, 연소기, 터빈 등의 부분품들이 서로간에 열역학적, 공력학적, 회전 역학적 결합이 잘 이루어져야 시스템으로서 올바른 성능을 얻을 수 있기 때문에 많은 요소 기술들이 복합적으로 결합되어야 한다. 이 때문에 반복적인 설계과정이 필요하고 또 많은 경험적인 특성이 내포되어 있으며 부분품 개발 시기 뿐아니라 결합된 완제품에 대한 성능시험도 장시간 이루어져야 하므로 독자적인 기술 개발에 많은 비용과 시행착오가 뒤따르기 쉽다. 이러한 기술 개발의 위험성을 피하기 위하여 선진국 등도 상호간 기술 협력을 통하여 제품을 개발하는 경우가 많다. 영국과 프랑스가 합작하여 개발한 초음속 비행기 Concorde, 미국 P&W사의 FT4000엔진 개발을 위한 consortium 형성, 러시아 BE200개발 시 우크라이나 엔진 D436TP 사용 등이 그것들이다. 따라서 가스터빈 엔진 기술 개발을 위해서는 이미 기술을 보유하고 있는 연구기관이나 업체와의 협력이 매우 유리하다. 그러나 미국, 일본, 유럽 등은 자국의 이익 보호 및 군사상의 이유로 기술 개발도상국과의 가스터빈 개발 협력을 회피하고 있는 실정이어서 이들로부터 기술이전을 받기는 쉽지 않다. 그러나 러시아나 우크라이나, 벨로러시아 등에는 구 소련 당시 소련의 국가 정책에 의하여 지역별로 성장한 가스터빈 기술 보유 연구기관이나 업체가 지금도 다수 존재하고 있어 이들과의 협력은 서방 세계보다 한결 수월하다고 판단된다. 따라서 한국으로서는 이들과 보다 긴밀한 정치적 관계 수립 및 과학적 유대

관계를 통하여 이들로부터 요소기술을 이전 받는 것이 미래의 국익을 위하여 매우 유익하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 김수용 외, 화재진압용 비활성가스제너레이터 타당성 조사보고서, 한국기계연구원, 1999
- [2] 김수용 외, G7고속전철기술개발사업 개발기술 활용화 방안연구, 한국기계연구원, 2002
- [3] Kovalevsky, 김수용, 비활성가스제너레이터 성능해석 보고서, 한국기계연구원, 2001
- [4] 송락현, 전재호, 연료전지 기술과 재료개발, 기계와 재료 특집, 1999 봄, p.p. 17-30.
- [5] 오군섭 외, 터보제너레이터 설계 및 제작 기술 개발 보고서, UCN292-830M.
- [6] Next Generation High Speed Rail(NGHSR) Program, 미국 교통부 보고서, 2000
- [7] 정균, 우크라이나 MashProekt 가스터빈 기술, 유체기계공업학회 기술논문, 2000. 10